DOI:10.11931/guihaia.gxzw201806030

室内观赏植物对甲醛的吸收及抗逆效果研究

贺辉[1]，彭其安[2*]

（1. 湖北生态工程职业技术学院，武汉 430200；2. 武汉纺织大学，武汉 430073）

摘要：本研究采用密封舱法模拟室内甲醛污染环境（熏蒸箱内甲醛浓度设置为 0.10~0.50 mg•m^{-3}，熏气时间 12 h），对 6 种常见室内观赏植物进行甲醛熏蒸试验，测定了植物对甲醛的吸收效率、叶面伤害指数及过氧化物酶（POD）等指标。结果表明：这 6 种常见观赏植物对甲醛均具较好的净化效果，甲醛熏蒸浓度为 0.10~0.30 mg•m^{-3}，白鹤芋对甲醛的净化效果最好；熏蒸浓度 0.50 mg•m^{-3}，绿萝和吊兰具有较好的净化和抗逆性能；铁线蕨对甲醛的耐受力较弱，适合作为室内甲醛污染的指示性植物。研究还发现，几种受试植物的 POD 酶与甲醛吸收率呈显著正相关关系（$P<0.05$），表明植物 POD 酶活力变化是受甲醛胁迫后的主要抗逆应答机制之一。

关键词：观赏植物，室内甲醛，吸收，过氧化物酶

Study on the absorption and resistance of indoor ornamental plants on formaldehyde

HE Hui[1]，PENG Qi'an[2*]

（1. *Hubei Ecology Polytechnic College*，Wuhan 430200, China；2. *Wuhan Textile University*，Wuhan 430073, China）

Abstract：Six common indoor ornamental plants were tested for formaldehyde fumigation in a simulated indoor formaldehyde-polluted environment，where the concentration of formaldehyde in the fumigation box was set among 0.10-0.50 mg•m^{-3}，and the removal efficiency，leaf injury index and peroxidase (POD) activity were measured after 12 h of formaldehyde fumigation. Results showed that all six indoor ornamental plants could purify formaldehyde, and the purifying effect of *Spathiphyllum kochii* was the best at the concentration of 0.10-0.30 mg•m^{-3} while *Epipremnum aureum* and *Chlorophytum comosum* had better purification and resistance at 0.50 mg•m^{-3} formaldehyde. However, the tolerance of *Adiantum capillus* to formaldehyde was quite weak, which could be used as indicative plant for indoor formaldehyde pollution. The results also showed that the POD activity of the six plants was positively correlated with the removal rate of formaldehyde (P < 0.05), which suggested that the change of POD activity was the main resistance mechanism of plants under formaldehyde stressed-environment.

[1]**基金项目**： 国家自然科学基金（31672455）；湖北省教育厅科学技术研究项目（B2018061，Q20161608）；湖北省林业科技支撑重点项目（LYKJ09）；湖北生态工程职业技术学院校基金（2014KY06） [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31672455); Hubei Provincial Administration of education Science and Technology Program (B2018061, Q20161608); Hubei Provincial Forestry Key Science & Technology Program (LYKJ09); Hubei Ecology Polytechnic College fund（2014KY06）]。

作者简介：贺辉（1988-），男，山西吕梁人，本科，讲师，从事室内生态设计研究，（E-mail）379721894@qq.com。

*通信作者：彭其安，博士，讲师，从事环境生物技术研究，（E-mail）pqa2002_@163.com。

Key words: ornamental plants, indoor formaldehyde, absorption, peroxidase

甲醛是典型的挥发性有机物（VOCs）之一，存在于室内各种装潢材料中，具有污染来源广、持续释放时间长和强致毒致癌等特征。近年来，由于各类装修、装饰引起的室内和公共场所的污染从而使甲醛受到民众普遍关注。我国的室内空气质量标准 GB/T18883－2002（简称国家标准）规定，室内空气中甲醛浓度不高于 0.1 mg•m^{-3}。实际上，国内大多数装修后的居家和公共场所内其甲醛浓度超过了国家标准（苏玉红等，2017）。因此，如何便捷、有效地吸收室内甲醛是一个亟待解决的难题。

当前，吸收甲醛的方法主要有以下几种：通风是一种常见的方法，但此过程释放较为缓慢，且容易受季节和室外空气质量的影响；活性碳吸附法容易吸附但饱和后导致吸附剂失效。根据室内甲醛的缓慢释放特征，近年来，利用植物吸收甲醛改善空气品质已成为一种经济有效的方法（黄欣等，2015）。

植物吸收甲醛的主要机制是植物气孔吸收甲醛分子后，利用体内的各种酶对甲醛进行分解，将其转化为无害物质。国内外学者筛选了一些吸附甲醛能力较强的植物品种，具有一定的净化效果（吴晓烽，2013；安雪等，2010），但关于植物的抗逆机制方面的文献报道并不多见。魏梅红等（2007）、Liang et al（2018）研究表明，过氧化物酶（POD）作为植物体内的重要氧化酶，与超氧化歧化酶（SOD）等构建了植物抗逆体系。因植物 POD 酶对甲醛气体的胁迫存在直接的应激反应和转化效应（令狐昱慰等，2011；Su & Liang，2015），故本文选用几种典型的室内观赏植物 POD 酶为研究目标，设置 5 组不同浓度的甲醛进行熏蒸试验，分析了它们对甲醛的吸收效率以及植株的抗逆特性，拟筛选出较好的吸收室内甲醛植物和指示性植物，为建立起甲醛的高效净化植物筛选方法提供科学思路。

1. 材料与方法

1.1 试验材料

试验中选用绿萝（*Epipremnum aureum*）、吊兰（*Chlorophytum comosum*）、常春藤（*Hedera nepalensis var. sinensis*）、芦荟（*Aloe vera*）、白鹤芋（*Spathiphyllum kochii*）和铁线蕨（*Adiantum capillus*）等 6 类长势良好的观赏植物，购自于武汉市元宝山花卉市场。

1.2 试验装置

参考 Su et al（2015）的试验装置，试验采用自制的有机玻璃熏蒸箱（长×宽×高 = 0.4 m × 0.4 m × 0.5 m），箱体一边打一个圆孔（直径为 1 cm）用于取样分析，取样前用透明胶带密封，箱体各连接处用硅胶密封处理。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

①将甲醛溶液配制成一定浓度，放在蒸发皿上，在密闭舱内让甲醛完全挥发后测定密封舱内空气中甲醛含量。密闭舱内甲醛浓度拟设定从 0.10 mg•m^{-3} 到 0.50 mg.m^{-3} 五个梯度，为国标《室内空气质量标准》（GB/T18883-2002）上限值的 1~5 倍；

②将花盆及盆土用保鲜膜密封包缠处理，以排除土壤和根际微生物的影响；

③将植物迅速放入（1）的熏蒸箱。

④对照实验：同时，将放置等量甲醛且无植物的另一熏蒸箱作为对照处理。

⑤试验条件、取样方法及数据处理：试验温度控制在恒温 25 ℃，12 h 内每小时用注射器通过采样小孔取样，测定不同熏蒸箱内空气中甲醛含量；试验结束后立即测定植物相关的生理指标（如叶片伤害指数和 POD 酶活力等）；重复测量三次，取平均值。

1.3.2 指标测定方法

（1）甲醛浓度测定及吸收率

甲醛浓度测定方法参考国标 GB/T15516-1995 乙酰丙酮分光光度法（张钧等，2011）。

（2）相关生理指标

①叶片过氧化物酶（POD）活性测定：参照愈创木酚法（刘萍等，2007），熏蒸前后计算单位面积 POD 活性。

过氧化物酶活性(FWg^{-1}•min^{-1})= $\Delta A_{470} \times VT/W \times V_S \times 0.01 \times t$

式中：

ΔA470——反应时间内 OD 变化值；

VT——提取酶液总体积（mL）；

W——植物鲜重（g）；

Vs——测定时取用酶液体积（mL）；

t——反应时间（min）。

②叶片伤害指数

伤害指数=叶片受害面积/叶片总面积

叶片面积的测定采用纸样称重法：用尺量出坐标纸边长，算出全纸面积，称出全纸重；剪下叶片平摊在坐标纸上，用铅笔在坐标纸上绘出叶轮廓，剪下叶形，称重，精度同上。

按下式计算叶面积（S）：

$$S(cm^2) = 全纸面积(cm^2) \times \frac{叶形纸重(g)}{全纸重(g)}$$

1.3.3 数据处理

试验数据通过 Origin 8.0 和 SPSS 17 等软件进行计算分析。

2. 结果与分析

2.1 植物吸收甲醛试验

在熏蒸箱内分别注入 0.10 ~ 0.4 mg•m^{-3} 浓度的甲醛，平衡后实测对照箱浓度分别为 0.086、0.17、0.27 和 0.36 mg•m^{-3}。分析认为，可能是甲醛在熏蒸箱壁上的少量吸附使箱体中的初始甲醛浓度与理论值产生一定差异。

由图 1 可知，12 h 后，6 种植物对甲醛均表现出一定的吸收能力，且随熏蒸箱内甲醛浓度升高，吸收率不断增加。白鹤芋和绿萝对甲醛的吸附能力较强，0.4 mg•m^{-3} 甲醛浓度下吸收率分别为 72.52%和 73.43%，吊兰、常春藤和铁线蕨对甲醛的吸收率分别为 67.99 %、65.72 %和 45.33 %，而芦荟对甲醛的吸收率仅为 31.73 %。

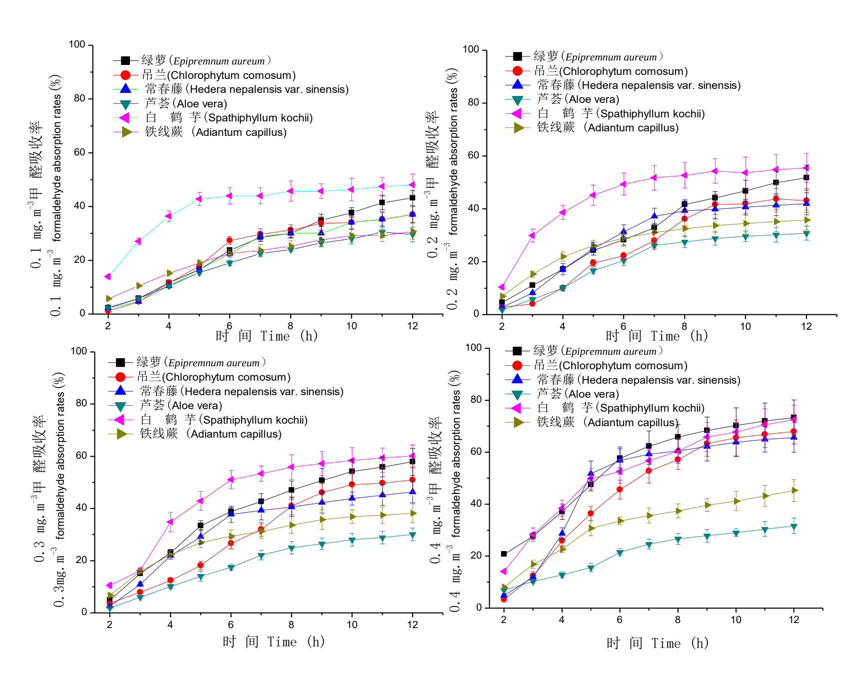


图 1 12 h 内 6 种植物在 0.1~0.4 mg.m^{-3} 甲醛浓度下的吸收能力

Fig. 1 Absorption capacity of 6 plants at 0.1-0.4 mg•m^{-3} formaldehyde concentration in 12 h

当熏蒸箱内甲醛浓度增至 0.50 mg•m^{-3} 时，平衡后实测对照箱空气浓度为 0.46 mg•m^{-3}。绿萝和吊兰在 12 h 后的吸收率都达到了 97.78 %，白鹤芋、常春藤、铁线蕨和芦荟的吸收率分别达到 90.00 %、86.67 %、57.78 %和 38.89 %（图 2）。

表 1 所示的 6 种植物，其单位叶片面积吸收甲醛量在 8.55×10^{-2} ~3.15×10^{-1} mg•m^{-2} 之间。统计分析结果表明：该浓度下，6 种植物对甲醛的吸收量与植物总叶片面积和单位叶片面积吸收量均无显著相关性。

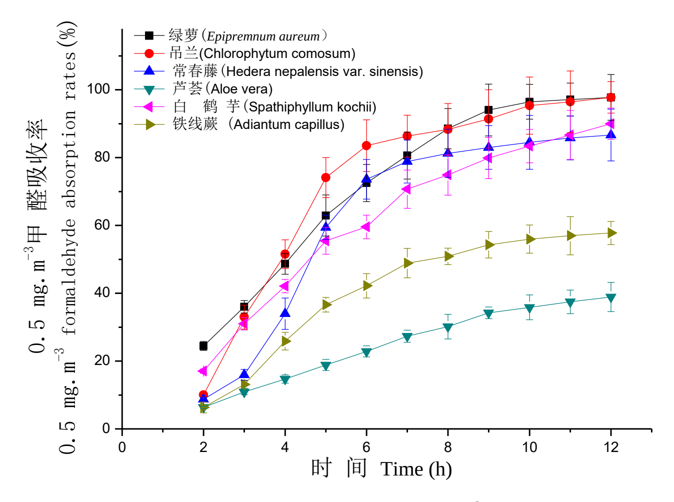


图 2. 12 h 内 6 种植物在 0.5 mg•m^{-3} 的甲醛浓度下的吸收能力

Fig. 2 Absorption capacity of 6 plants at 0.5 mg.m^{-3} formaldehyde concentration in 12 h

表 1 12 h 内 6 种植物在 0.5 mg•m^{-3} 甲醛浓度下叶片的吸收效率

Table 1 Leaf absorption efficiency of 6 plants at 0.5 mg.m^{-3} formaldehyde concentration in 12 h

植物名称 Plants names	总叶片面积 Total blade area (m^2)	甲醛吸收量 Formaldehyde absorption （mg）	单位叶面积甲醛吸收量 Formaldehyde absorption rates （mg•m^{-2}）

绿萝 (*Epipremnum aureum*)	3.30×10^{-1}	3.52×10^{-2}	1.07×10^{-1}
吊兰 (*Chlorophytum comosum*）	3.35×10^{-1}	3.52×10^{-2}	1.05×10^{-1}
常春藤 (*Hedera nepalensis var. sinensis*)	3.65×10^{-1}	3.12×10^{-2}	8.55×10^{-2}
芦荟 (*Aloe vera*)	1.04×10^{-1}	1.40×10^{-2}	1.35×10^{-1}
铁线蕨 (*Adiantum capillus*)	2.15×10^{-1}	2.08×10^{-2}	9.67×10^{-2}
白鹤芋 (*Spathiphyllum kochii*)	1.03×10^{-1}	3.24×10^{-2}	3.15×10^{-1}

2.2 植物过氧化物酶（POD）酶活及伤害指数

表 2 和表 3 分别展示了 5 种甲醛浓度下的植物体内 POD 酶活性及伤害指数。结果表明，随着熏蒸箱甲醛浓度的增加，不同植物体内的 POD 酶活和伤害指数也随之增加。熏蒸箱内甲醛浓度在 0.2 mg•m^{-3} 以下时，白鹤芋和绿萝叶片未受到甲醛伤害，且甲醛吸收效率较高；而铁线蕨和芦荟在高浓度甲醛(0.5 mg.m^{-3})熏蒸作用下有 9.31%和 1.18%的叶面积受到损伤。

表 2　12 h 内 6 种植物在不同甲醛浓度下 POD 活性（FWg^{-1}•min^{-1}）

Table 2 POD activity of 6 plants at different formaldehyde concentrations in 12 h

植物名称 Plants names	甲醛浓度 Formaldehyde concentration (mg•m^{-3}) 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
绿萝 (*Epipremnum aureum*)	3.56×10^{-1}	4.79×10^{-1}	5.69×10^{-1}	6.75×10^{-1}	8.47×10^{-1}
吊兰 (*Chlorophytum comosum*）	3.89×10^{-1}	5.23×10^{-1}	7.52×10^{-1}	8.75×10^{-1}	1.05
常春藤 (*Hedera nepalensis var. sinensis*)	9.60×10^{-2}	1.56×10^{-1}	2.43×10^{-1}	3.51×10^{-1}	4.01×10^{-1}
芦荟 (*Aloe vera*)	2.56×10^{-1}	3.01×10^{-1}	3.63×10^{-1}	4.07×10^{-1}	4.67×10^{-1}
铁线蕨 (*Adiantum capillus*)	2.34×10^{-1}	3.68×10^{-1}	4.37×10^{-1}	5.02×10^{-1}	5.58×10^{-1}
白鹤芋 (*Spathiphyllum kochii*)	1.68×10^{-1}	2.04×10^{-1}	2.97×10^{-1}	3.64×10^{-1}	3.95×10^{-1}

表 3　12 h 内 6 种植物在不同甲醛浓度下的叶片伤害指数

Table 3 Leaf injury index of 6 plants at different formaldehyde concentrations in 12 h

植物名称 Plants names	甲醛浓度 Formaldehyde concentration (mg•m^{-3}) 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

绿萝 (*Epipremnum aureum*)	0	0	0	3.00×10^{-4}	6.00×10^{-4}
吊兰 (*Chlorophytum comosum*）	5.98×10^{-4}	1.49×10^{-3}	2.10×10^{-3}	2.40×10^{-3}	3.91×10^{-3}
常春藤 (*Hedera nepalensis var. sinensis*)	2.20×10^{-3}	4.10×10^{-3}	6.10×10^{-3}	6.90×10^{-3}	9.60×10^{-3}
芦荟 (*Aloe vera*)	2.90×10^{-3}	3.80×10^{-3}	5.80×10^{-3}	8.70×10^{-3}	1.18×10^{-2}
铁线蕨 (*Adiantum capillus*)	3.20×10^{-3}	5.6×10^{-3}	2.02×10^{-2}	3.79×10^{-2}	9.31×10^{-2}
白鹤芋 (*Spathiphyllum kochii*)	0	0	1.90×10^{-3}	1.90×10^{-3}	5.80×10^{-3}

2.3 植物 POD 酶活与甲醛吸收率的相关性分析

统计分析结果显示，大多数植物体内的 POD 酶活性与其对甲醛的吸收率存在显著相关性。如表 4，所选用的吊兰、常春藤、铁线蕨和白鹤芋 4 种植株的 POD 酶活与不同浓度甲醛熏蒸下的吸收率呈显著正相关（P＜0.05)，且绿萝 POD 酶活与不同梯度的甲醛吸收率呈极显著正相关（P＜0. 01)。

表 4 POD 酶活与甲醛吸收率的相关关系

Table 4 Correlation between POD enzyme activity and formaldehyde absorption rate

植物名称 Plants names	*r*	*p*	*n*	显著性 Significance
绿萝 (*Epipremnum aureum*)	0.984	0.002	5	**
吊兰 (*Chlorophytum comosum*）	0.938	0.018	5	*
常春藤 (*Hedera nepalensis var. sinensis*)	0.944	0.016	5	*
芦荟 (*Aloe vera*)	0.822	0.087	5	-
铁线蕨 (*Adiantum capillus*)	0.909	0.032	5	*
白鹤芋 (*Spathiphyllum kochii*)	0.932	0.021	5	*

注：*表示 P<0.05 显著水平，**表示 P<0.01 极显著水平。

Note: * and ** indicate significant correlations of 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3. 结论与讨论

3.1 植物品种对甲醛的吸收影响

本试验中所选用的 6 种植物的叶面积存在一定差异，但统计分析未发现植物对甲醛的吸收率与总叶面积或单位叶面积的甲醛吸收率之间存在相关性，与前人的研究结果（植物吸收气体污染物的能力与其叶片的气孔数量和尺寸有关（Soreanu et al，2013））并不一致。

实际的测试中发现，当熏蒸箱甲醛浓度改变时，植株对甲醛的吸收效率排序会发生变化。如：白鹤芋的总叶片面积最小，但在 0.1~0.3 mg•m^{-3} 浓度下对甲醛的吸收效果最好（图 1），

而绿萝和吊兰只有在较高甲醛浓度下吸收效率最高（图 2）；常春藤的总叶面积最大，但对甲醛的吸收效率始终处于中等水平。以上的研究结果表明植物对甲醛的吸收主要受其品种影响，与植株体内的抗逆特征和转化效率有关。

3.2 植物抗逆特性与 POD 酶活关系

当植物受逆境胁迫时，体内的 POD、CAT 和 SOD 酶等抗氧化酶活性会发生变化，说明其形成了防御体系并且存在着一定的耐受能力（苏玉红等，2017）。本试验的统计数据显示，所选用的植物体内 POD 酶活与甲醛吸收率呈显著正相关关系（芦荟除外），表明大多数植物对甲醛均具备一定的抗逆效应。从不同甲醛浓度下的吸收效率和伤害指数综合考虑，白鹤芋适合于吸收较低浓度的室内甲醛。

统计结果也表明，不同甲醛浓度（0.1 ~0.5 mg•m^{-3}）熏蒸下绿萝叶片 POD 酶与甲醛吸收率呈极显著正相关关系（见表 4），与 Tada & Kidu（2011）的研究结果非常接近。本研究中植物伤害指数也证实了绿萝在较高甲醛浓度下抗性更强，适合于清除高浓度的空气甲醛。

铁线蕨在不同甲醛浓度下虽有吸收效果，但其叶面的伤害较为明显，即便在 0.1 mg•m^{-3} 甲醛浓度下（实际平衡后的测值与国标规定的浓度上限值也较为接近）仍表现出叶片有明显的坏死、褐斑或呈水渍状等病症。说明铁线蕨对甲醛的耐受能力较弱，可以考虑将其作为室内甲醛浓度是否超标的指示植物。进一步证实了植物叶片在抗逆环境中的保护机制可能与其叶片对应 POD 密切相关，并且可能存在着一个耐受浓度的阈值范围，该阈值不仅与其叶龄相关，还与植物品种相关。

综上，本研究中涉及的 6 种常见观赏植物品种对甲醛的吸收及抗逆效果存在较大的差异：绿萝和吊兰对室内甲醛吸收具有较好的净化效果，而铁线蕨等植物对甲醛的耐受力较弱，适合作为受甲醛污染的指示植物，本研究为评定观赏植物净化室内有毒有害气体能力以及高效筛选高耐受植物品种提供了一定的理论依据。

参考文献：

SU YH, LIU KY, ZHAO YY, et al, 2017. Foliar Uptake, downward transport of airborne formaldehyde and physiological response of plants [J]. Environ Sci & Technol , (1): 70-74. [苏玉红，刘凯艳，赵媛媛，等, 2017. 空气中甲醛的植物吸收、传输作用及生理响应[J]. 环境科学与技术, (1): 70-74.]

HUANG X, LIN M, LIAO M L, et al, 2015. Research regress on removal of formaldehyde by ornamental plant [J]. Mod Agric Sci Technol, (2): 174-175. [黄欣，林茂，廖美兰，等, 2015. 室内观赏植物对甲醛吸收的研究进展[J]. 现代农业科技, (2): 174-175.]

WU XF, 2013. The effect of 10 ornamental plants on purifying formaldehyde and simulation research[J].J Environ Health, 30(12): 1113-1114. [吴晓烽, 2013. 10 种常见居室观赏植物吸收甲醛效果模拟研究[J]. 环境与健康杂志, 30(12): 1113-1114.]

AN X, LI X, PAN HT, et al, 2010. The capacity of 16 ornamental plants on purifying indoor formaldehyde pollution and their physiological response to formaldehyde stress [J]. Ecol Environ Sci, 19(2): 379-384. [安雪，李霞，潘会堂，等，2010. 16 种室内观赏植物对甲醛净化效果及生理生化变化[J]. 生态环境学报，19(2): 379-384.]

WEI MH, ZHENG JJ, RAO Y, et al, 2007. Effects of formaldehyde on the activity of POD of *Aloe vera var. chinensis* (Haw) Berg [J]. J Fujian Norm Unive (Nat Sci Ed), 23(4):133-136. [魏梅红，郑晶晶，饶瑶，等，2007. 甲醛对芦荟 POD 酶活性的影响[J]. 福建师大学报(自然科学版), 23(4): 133-136.]

LIANG H, ZHAO S, SU Y, et al, 2018. Self-Enhancement effect and mechanism of potted *Chlorophytum comosum* on formaldehyde removal from air [J]. Intern J Environ Res, 12(3): 337-346.

LING HU YW, LI B, LI SF, et al, 2011. Monitoring, purification and response of three indoor ornamental plants on formaldehyde pollution [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 31(4):776-782. [令狐昱慰，黎斌，李思锋，等，2011. 3 种观赏植物对室内甲醛污染的净化及生长生理响应[J]. 西北植物学报, 31(4): 776-782.]

SU Y, LIANG Y, 2015. Foliar uptake and translocation of formaldehyde with bracket plants (*Chlorophytum comosum*) [J]. J Hazar Mat, 291: 120-128.

ZHANG J, YANG WW, 2011. Whole-course quality control in determining formaldehyde in air and waste gas [J]. Environ Sci Manag, 36(12):128-133. [张钧, 杨文武, 2011. 空气和废气中甲醛测定全程质量控制[J]. 环境科学与管理, 36(12): 128-133.]

LIU P, LI MJ, 2007.The experimental techniques for plant physiology [M]. Beijing: Science Press of China. [刘萍, 李明军, 2007. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社.]

SOREANU G, DIXON M, DARLINGTON A, 2013. Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants – A mini-review [J]. Chem Engineer J, 229(8): 585-594.

TADA Y, KIDU Y, 2011. Glutathione-dependent formaldehyde dehydrogenase from golden pothos (*Epipremnum aureum*) and the production of formaldehyde detoxifying plants [J]. Plant Biotechnol, 28(4): 373-378.